

## **Desenvolvimento e validação de planta didática, integrada a sensor fotométrico de baixo custo, como aplicação ao ensino de reatores químicos**

### **Development and validation of laboratory scale reactor, integrated to low cost photometric sensor, as application to chemical reactors teaching**

DOI:10.34117/bjdv8n3-356

Recebimento dos originais: 27/01/2022

Aceitação para publicação: 25/02/2022

#### **Raphael Fonseca do Nascimento**

Professor Doutor do curso de Licenciatura em Química

Instituição: Universidade Católica de Pernambuco

Endereço: Rua do Príncipe, 526 – Boa Vista, Recife – PE CEP: 50050-900

E-mail: raphael.nascimento@unicap.br

#### **Hilário Jorge Bezerra de Lima Filho**

Professor Doutor do Curso de Engenharia Química

Instituição: Universidade Católica de Pernambuco

Endereço: Rua do Príncipe, 526 – Boa Vista, Recife – PE CEP: 50050-900

E-mail: hilario.filho@unicap.br

#### **Edjane Oliveira dos Santos**

Professora Doutora do curso de Licenciatura em Matemática

Instituição: Universidade Católica de Pernambuco

Endereço: Rua do Príncipe, 526 – Boa Vista, Recife – PE CEP: 50050-900

E-mail: edjane.santos@unicap.br

#### **Antonio José da Cruz Filho**

Professor Doutor do curso de Licenciatura em Física

Instituição: Universidade Católica de Pernambuco

Endereço: Rua do Príncipe, 526 – Boa Vista, Recife – PE CEP: 50050-900

E-mail: antonio.filho@unicap.br

#### **RESUMO**

Sensores em fluxo são dispositivos de extrema importância para a avaliação dos diversos processos industriais, pois conferem a confiabilidade do sistema produtivo. O desenvolvimento de sensores fotométricos já é uma realidade para análises químicas de bancada. Contudo, são poucos os estudos contendo aplicações na avaliação da cinética de reação de processos industriais em fluxo. O presente trabalho tem como objetivos desenvolver um sensor espectrofotométrico de baixo custo em fluxo e validá-lo através do monitoramento da redução do corante azul de metileno pelo ácido ascórbico, catalisada pelo ácido clorídrico. Os resultados obtidos a partir do sensor em fluxo foram comparados por um espectrofotômetro comercial e evidenciam uma promissora aplicação desse sistema no monitoramento de processos cinéticos nas aulas do curso de graduação em engenharia química.

**Palavras-chave:** ensino de engenharia química, estratégia de ensino, metodologias ativas.

## ABSTRACT

Flow sensors are extremely important devices for the evaluation of various industrial processes, as they provide the reliability of the production system. The development of photometric sensors is already a reality for benchtop chemical analysis. However, there are few studies containing applications in the evaluation of reaction kinetics of industrial processes in flow. The present work aims to develop a low cost flow spectrophotometric sensor and validate it by monitoring the reduction of methylene blue dye by ascorbic acid, catalyzed by hydrochloric acid. The results obtained from the flow sensor were compared by a commercial spectrophotometer and show a promising application of this system in the monitoring of kinetic processes in the classes of the undergraduate chemical engineering course.

**Keywords:** chemical engineering teaching, strategy teaching, active methodologies.

## 1 INTRODUÇÃO

A experimentação voltada para o ensino da Engenharia Química, atualmente, vem sendo dedicada a atividades de elevado custo experimental ou laboratórios de simulação computacional (LÔBO, 2012; CONTE, 2018). Essas ferramentas refletem o ambiente industrial no qual o aluno será inserido. Entretanto, plantas didáticas e licenças dos softwares utilizados têm um custo elevado, o que dificulta a aquisição (PEREIRA FILHO, 2014; LIOU, 2018). Dessa forma, há a necessidade de desenvolvimento de equipamentos similares de baixo custo para proporcionar ao aluno experiência semelhante ou que se aproxime do ambiente industrial (VANNICE, 2005; LEAL, 2020; CAPPS, 2008).

Com o advento do microcontrolador Arduino, uma plataforma livre, foram abertas novas possibilidades de desenvolvimento de equipamentos tais como sistemas de controle proporcional, integral e derivativo (PID), controladores lógicos programáveis (CLP) e sensores fotométricos (YIN, 2019; GĂȘPĂRESC, 2016; MCCLAIN, 2014; ANTUNES, 2012; PINTO, 2011). Dentro desse contexto, as atividades experimentais que abordem cinética química de reatores vêm sendo descontextualizada com a realidade do futuro engenheiro, uma vez que se resume a reações de bancada e monitoramento através de espectrofotômetros comerciais.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver, como ferramenta auxiliar no ensino de Engenharia Química, um sistema de monitoramento fotométrico em fluxo para determinar a cinética da reação entre azul de metileno (AM) e o ácido ascórbico (Asc)

catalisada por ácido clorídrico (HCl) que ocorreu em um reator batelada. Os resultados obtidos foram comparados e validados por um espectrofotômetro comercial (LÔBO; 2012).

Detecção óptica de analitos é uma das mais antigas e técnicas já estabelecidas (THAL, 2001), principalmente pela facilidade da simples miniaturização de instrumentos para medições em campo, uma vez que envolve o uso do díodo emissor de luz (LED) como emissor/detector ou sensores de luminosidade (LDR). As principais vantagens destes instrumentos são: simplicidade de operações, baixo custo, baixo consumo de energia, alta estabilidade, eficiência da produção de luz dentro de uma curta faixa de comprimento de onda, longevidade (MCCLAIN, 2014) e alta disponibilidade de materiais no mercado (PINTO, 2011). A facilidade na aquisição de LEDs permite substituir sistemas ópticos complexos, sobretudo quando os do tipo RGB (*Red* - vermelho, *Green* - verde e *Blue* - azul) são usados como fontes de vários comprimentos de onda na região do visível. Dentro dessa perspectiva, é possível desenvolver fotômetros simples usando um LED com o circuito eletrônico adequado (MCCLAIN, 2014). Medições de absorbância baseadas em LED ou transdutores fotométricos para espectroscopia de absorção molecular têm sido reportados (MCCLAIN, 2014). Esses dispositivos eletrônicos foram componente base para desenvolvimento de um pequeno sensor portátil a fim de realizar a medição ou detecção de compostos diferentes, tais como metais, cátions, ânions (THAL, 2001) ou hidrocarbonetos aromáticos (MCCLAIN, 2014).

O microcontrolador Arduino, desenvolvido na Itália em 2005, ofereceu novos horizontes para uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e de fácil interação para qualquer indivíduo possa criar projetos com objetos e ambientes interativos (PINTO, 2011). O Arduino é uma placa de microcontrolador dotada de conexão USB, que permite a ligação serial com um computador, contendo diversos terminais de conexão com dispositivos externos, como motores, relés, sensores, diodos, etc (MONK, 2011). O projeto da placa é aberto, configurando o “open hardware”, contudo somente a marca Arduino é de uso reservado (BANZI, 2011).

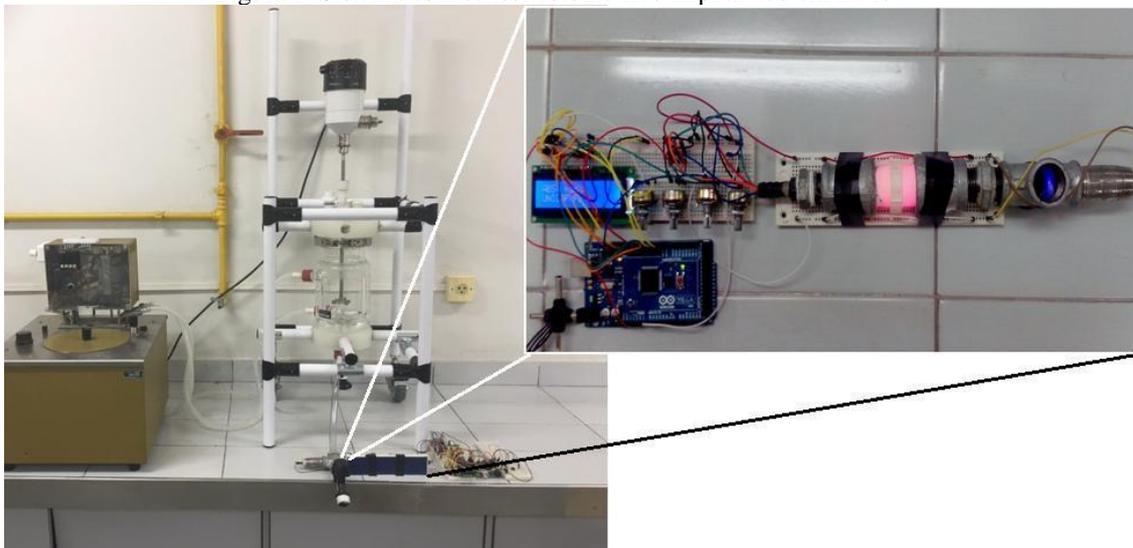
## 2 METODOLOGIA

### 2.1 SENSOR FOTOMÉTRICO

Para a construção do fotômetro foi utilizado um microcontrolador Arduino®-Mega, que tem como especificação de hardware: voltagem de operação de 5 V, tensão de alimentação entre 6-9V, 54 portas digitais de entrada/saída, dos quais 15 podem ser

usadas como portas PWM (*Pulse Width Modulation*), e 16 portas analógicas de entrada, com capacidade máxima de corrente elétrica de 40 mA por pino, memória flash de 256 KB para armazenamento do código, 8 KB de memória SRAM para dados, processador com clock de 16 MHz, uma junção de  $\frac{3}{4}$  de cano em PVC para visualização da cor emitida pelo LED, junções de canos de  $\frac{3}{4}$  em aço inox, utilizou-se uma mangueira de  $\frac{3}{4}$  como célula de amostragem contendo um caminho óptico de 2 cm, um display, placa protoboard, LED RGB com luminosidade máxima de 800 mcd na cor vermelha (650 nm), sensor de luminosidade LDR com sensibilidade relativa de 40% ao comprimento de onda 650 nm a 25°C e por fim, com a finalidade de obter a cor vermelha (650nm), utilizou-se potenciômetros para atingir a combinação de [255,0,0] nas portas digitais PWM da placa microcontroladora.

Figura 1. Sistema com sensor fotométrico implantado em fluxo.



## 2.2 SOLUÇÕES E REAGENTES

Foram realizadas quatro reações utilizando-se quantidades diferentes de AM. As reações foram especificadas como E1, E2, E3 e E4. Nessas reações, as concentrações de AM ( $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ ) foram variadas por diluição e as concentração de HCl ( $0,8 \text{ mol L}^{-1}$ ) e Asc ( $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) foram fixadas. As soluções foram adicionadas a um reator batelada de 1,00 L onde a reação se deu por agitação mecânica através de um agitador FISATROM modelo 713D. Os volumes utilizados para cada ensaio seguem descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Volumes dos ensaios E1, E2, E3 e E4

Ensaio	Vol. HCl mL	Vol. Asc. mL	Vol. H <sub>2</sub> O mL	Vol. AM mL
1	10,00	8,00	978	4,00
2	10,00	8,00	980	2,00
3	10,00	8,00	981	1,00
4	10,00	8,00	981,5	0,50

As concentrações finais das soluções de HCl e Asc são respectivamente, 8 mmol L<sup>-1</sup> e 0,8 mmolL<sup>-1</sup>. As concentrações finais do AM são respectivamente, 4 μmol L<sup>-1</sup>, 2 μmol L<sup>-1</sup>, 1 μmol L<sup>-1</sup> e 500 nmol L<sup>-1</sup>.

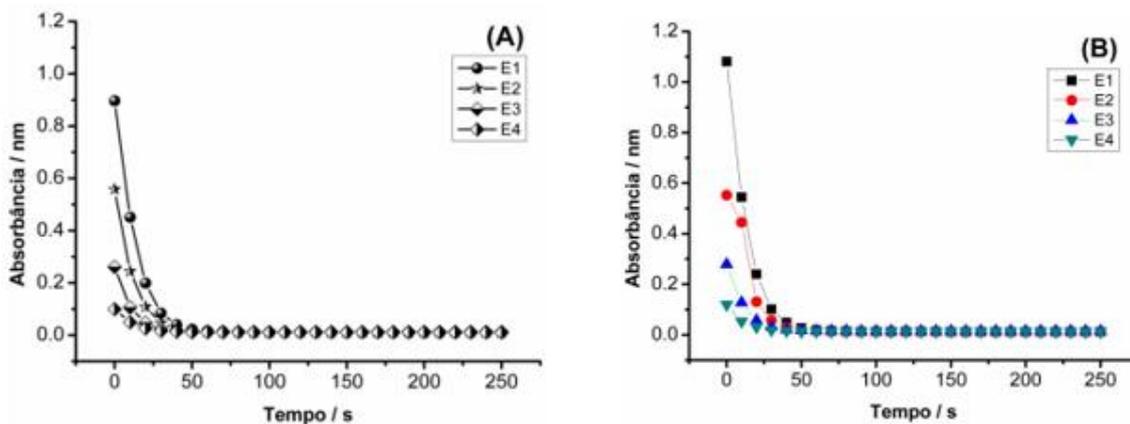
### 2.3 OBTENÇÃO DAS ABSORBÂNCIAS

Os valores das absorbâncias da solução foram registrados em comprimento de onda fixo de 650 nm (LED RGB) a cada 10 segundos até que se fosse atingido o tempo de 250 segundos após abertura da válvula de descarte. Para obtenção dos resultados para validação utilizou-se um espectrofotômetro comercial GBC-CINTRA10 com comprimento de onda fixado em 665 nm (comprimento de onda máximo de absorção do AM).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2A e 2B apresentam os resultados gerados a partir do sensor fotométrico desenvolvido e o espectrofotômetro comercial respectivamente. Observa-se que não há perdas analíticas consideráveis quando as duas curvas são comparadas. A baixa sensibilidade do sensor fotométrico se dá devido ao elevado caminho óptico da célula de amostragens 2 cm para célula de amostragem mais 13 cm de tubulação.

Figura 2 – Decaimento da absorbância em função do tempo medidas no sensor fotométrico (A) e espectrofotômetro comercial (B) nos respectivos ensaios E1, E2, E3 e E4.

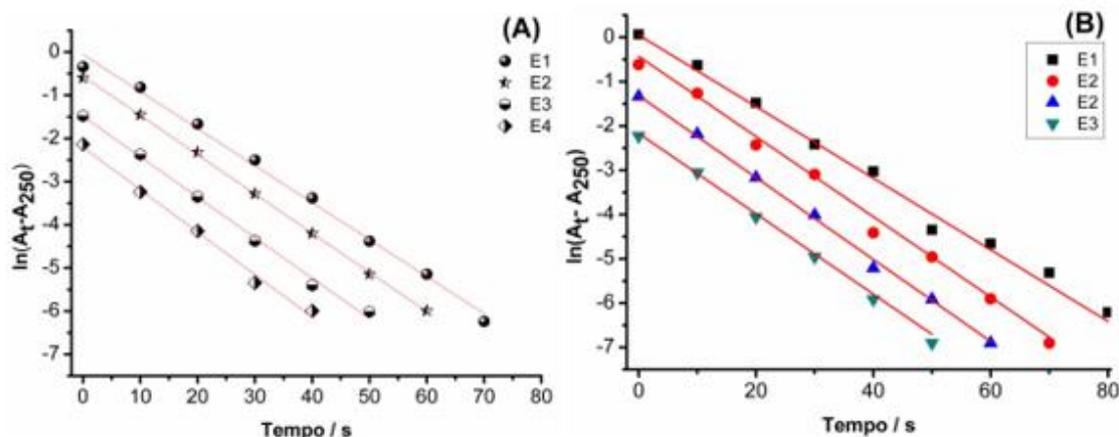


Através dos dados de absorvância gerados pelos dois sistemas pôde-se determinar a constante de velocidade. Como condição inicial, adotou-se que o processo se caracterizaria por condições de primeira ordem, conforme descrito na Equação 1, através da qual pode-se determinar a absorvância da solução em um determinado instante de tempo, onde  $A_{250}$  é a absorvância em 250 segundos,  $k_{exp}$  é a constante de velocidade e  $t$  o tempo de reação

$$\ln(A_t - A_{250}) - k_{exp}t$$

As curvas de  $\ln(A_t - A_{250})$  em função do tempo são exibidas na Figura 3. Os valores constantes foram suprimidos.

Figura 3 – Ajustes lineares dos valores de  $\ln(A_t - A_{250})$  em função do tempo para as reações E1, E2, E3 e E4 no sensor fotométrico (A) e espectrofotômetro comercial (B).



Os parâmetros das retas e as constantes de velocidades são apresentados na Tabela 2. Observa-se que os dados de correlação linear indicam que as reações foram realizadas em condições de pseudo-primeira ordem para os dois sistemas. As constantes de velocidades foram determinadas através dos coeficientes angulares das retas.

Tabela 2. Parâmetros das retas ajustadas mostradas na Figura 3A e as constantes de velocidade determinadas.

Reação	Parâmetro da reta (y = A + Bx)		R	$K_{exp} / 10^{-2} s^{-1}$
	A (Desvio)	B (Desvio)		
E1	0,12 (0,06)	-0,08 (0,00)	0,997	8,3±0,1
E2	-0,45 (0,07)	-0,09 (0,00)	0,998	9,0±0,1
E3	-1,42 (0,05)	-0,09 (0,00)	0,998	9,2±0,1
E4	-2,16 (0,05)	-0,09 (0,00)	0,998	9,3±0,1

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De acordo com os resultados apresentados, pode-se observar que o sistema proposto para atuar como adjuvante ao ensino de cinética de reatores se mostrou eficaz, uma vez que apresentou resultados satisfatórios para determinação da cinética de reação entre o AM e Asc catalisada por HCl. A comprovação da eficácia do sensor possibilita o desenvolvimento de novas práticas envolvendo outras reações colorimétricas, dessa forma, aumenta-se a dinâmica durante o ensino nos cursos de Engenharia Química.

## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, M.; PACHECO, M. A. R.; GIOVANELA, M. Design and implementation of an educational game for teaching chemistry in higher education. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 4, p. 517-521, 2012.
- BANZI, M.; Getting Started with Arduino. **Maker Media**, Inc, 2011.
- CAPPS, K. Chemistry taboo: An active learning game for the general chemistry classroom. **Journal of chemical education**, v. 85, n. 4, p. 518, 2008.
- CONTE, B.; LANDIS, W.; BOYCE, N.; FREDERICK, J. FREDERICK, L. ELMER. J. J. Design and Application of 3D-Printed Photometers Controlled with an Arduino. **3d printing and additive manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 292-300, 2018.
- GĂȘPĂRESC, G. PID control of a DC motor using Labview Interface for Embedded Platforms. In: **2016 12th IEEE International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)**. IEEE, 2016. p. 145-148.
- LEAL, M. G., SILVA, J. A., SILVA, D., DAMACENA, D. H. L. As Tics no ensino de química e suas contribuições na visão dos alunos. **Brazilian Journal of Development**, V. 6, 3733-3741. 2020.
- LIU, W. K.; CHANG, C. Y. Virtual reality classroom applied to science education. In: **2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT)**. IEEE, p. 1-4. 2018.
- LÔBO, F. S., O Trabalho experimental no ensino de química. **Química Nova**. v. 35. p. 430-434, 2012.
- MCCLAIN. R. L., Construction of a photometer as an instructional tool for electronics and instrumentation. **Journal of Chemical Education**. v. 9., p. 747-750, 2014.
- MONK, S.; Programming Arduino Getting Started with Sketches. **McGraw-Hill**, 2011.
- MOWRY, S.; OGREN, P. J.. Kinetics of Methylene Blue Reduction by Ascorbic Acid. **Journal of Chemical Education** v. 76, p. 970-973, 1999.
- PEREIRA FILHO, R. Dutra; F. V.; COSTA, J. A. V. Dynamic simulation of chemical Kinetics in Microcontroller. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 4, n. 12, p. 34-38, 2014.
- PINTO, M. de C.; Aplicação de Arquitetura Pedagógica Em Curso de Robótica Educacional com Hardware Livre. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.
- THAL, M. A.; SAMIDE, M. J., Applied electronics: Construction of a simple spectrophotometer. **Journal of Chemical Education**. v. 78, p. 1510-1512, 2001.
- VANNICE, M. A.; JOYCE, William, H. **Kinetics of catalytic reactions**. New York: Springer, 2005.
- YIN, CHUN. Optimizing energy consumption for lighting control system via multivariate extremum seeking control with diminishing dither signal. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 16, n. 4, p. 1848-1859, 2019.